

4. Постановление Государственного комитета «Единый тарифный орган Челябинской области». [Электронный ресурс]. от 19 декабря 2013 года № 58/7. URL: http://www.esbt74.ru/files/tarif/2014/post_eto_55_2.pdf. (дата обращения: 12.11.2014).
5. Гидроэнергетические, ветроэнергетические, гелиоэнергетические ресурсы : атлас энергетических ресурсов СССР. Т. 1. Ч. 3, М. ; Л. : ОНТИ, 1935 . 128 с.
6. Кирпичникова И. М., Соломин Е. В. Ветроэлектростанции : учеб. пособие к практическим занятиям. Челябинск : ЮУрГУ, 2012. 85 с.

УДК 620.93

Стяжкин В. С., Шмакова Л. А., Вальцева А. И.
Уральский федеральный университет,
sh.l.a.1995@mail.ru

МГД-ГЕНЕРАТОРЫ: НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Идея использования жидкого проводника была выдвинута Майклом Фарадеем в 1832 г. Однако его попытка экспериментально подтвердить эту идею в 1832 г. окончилась неудачей. В 1851 г. английскому ученому Волластону удалось измерить ЭДС, индуцированную приливными волнами в Ла-Манше, что на практике подтвердило предположение Фарадея. Однако отсутствие необходимых знаний по электрофизическим свойствам жидкостей и газов долго тормозило использование описанных эффектов на практике.

В дальнейшем исследования проводились по двум основным направлениям: использования эффекта индуцирования ЭДС для измерения скорости движущейся электропроводной среды и генерирования электрической энергии.

Первые патенты на генерирование электричества МГД-генератором были получены еще в 1907–1910 гг., однако описанные в них конструкции на практике были нереализуемы, так как не существовало материалов, способных работать в газовой среде при температурах 2500–3000 °С.

Только благодаря созданию новой науки – магнитной гидродинамики – стало возможным создание МГД-генераторов, а также развитию физики плазмы и исследованиям в области физики высоких температур, и созданию к этому времени жаропрочных материалов.

В первом МГД-генераторе, построенном в США в 1959 г., источником плазмы с температурой 3000 К служил плазмотрон, работавший на аргоне с присадкой щелочного металла для повышения степени ионизации газа. Мощность генератора составляла 11,5 кВт. В 1960 г. в США был построен лабораторный МГД-генератор на продуктах сгорания с присадкой щелочного металла. К середине 60-х годов мощность МГД-генераторов на продуктах сгорания удалось довести до 32 МВт.

В СССР усилия были направлены главным образом на создание комплексных энергетических установок с МГД-генераторами. В 1962–1965 гг. были проведены теоретические и экспериментальные исследования, которые позволили в 1965 г. привести в действие комплексную модельную энергетическую

установку «У-02», включавшую в себя основные элементы ТЭС с МДГ-генераторами и работавшую на природном топливе. На «У-02» были получены экспериментальные данные, которые сильно расширили представление о возможностях практического использования МГД-установок.

В 1971 г. была запущена опытно-промышленная энергетическая установка «У-25», имеющая расчетную мощность 20–25 МВт. Она работала на продуктах сгорания природного газа с добавкой K_2CO_3 в качестве ионизирующей присадки. В России промышленный МГД-генератор строился в Новомичуринске Рязанской области, где рядом с Рязанской ГРЭС была специально построена МГДЭС. Однако генератор так и не был запущен в эксплуатацию. С начала 1990 г. работы были полностью свернуты, а МГД-электростанция, без МГД-генератора, работающая как обычная тепловая электростанция, после нескольких преобразований в конце концов была присоединена к Рязанской ГРЭС.

МГД-генераторы делятся на три основных типа:

- 1) МГД-установки открытого цикла;
- 2) МГД-установки закрытого цикла;
- 3) импульсные МГД-установки.

Главными препятствиями в развитии МГД с открытым циклом являлись сложности с настройками МГД, влияющими на эффективность и надежность генератора, также были проблемы с камерой сгорания и с созданием сверхпроводящей магнитной системы МГДГ с индукцией 4,5–6 Тл. Газ и уголь использовались для нагрева инертного газа в регенеративных теплообменниках.

Реализация МГДГ с замкнутым циклом также не обошлась без трудностей: герметичностью замкнутого контура установки с минимальным содержанием примесей и предотвращением загрязнения рабочего тела в регенеративных теплообменниках. Тело планировалось получать из газоохлаждаемого ядерного реактора, но спустя время источником энергии стало органическое топливо.

Импульсные МГД-генераторы используют самовозбуждающиеся магнитные системы с индукцией 3–3,5 Т и неохлаждаемые МГД-каналы. Топливом для этих установок служит порох с высокой энтальпией. В результате исследований ученые пришли к выводу, что характеристики действующих импульсных МГД установок можно увеличить в 3–4 раза (см. таблицу).

В последнее время большое внимание специалистов привлекают космические приложения магнитоплазменной аэродинамики и МГД-взаимодействия при высокоскоростном полете летательного агрегата. Эксперименты проводятся на крупных газодинамических стендах различных организаций.

Поисковые работы ведутся в области автономных энергоустановок с МГДГ и ядерным реактором. В рамках программы NERVA был разработан проект бортового источника питания космических летательных аппаратов на основе дискового МГДГ диаметром 2,5 м, работающего в замкнутом цикле и газоохлаждаемого ядерным реактором. Мощность МГДГ 70 МВт, расход рабочего тела 5,5 кг/с, магнитная индукция 4 Тл, коэффициент преобразования энтальпии 35 % [1].

Рабочие параметры МГД-генераторов

Параметр	Импульсный МГД-генератор			
	«Памир-1»	«Прикаспий» («Памир-2»)	«Прогноз-1» («Урал»)	«Хибины»
Мощность в согласованной нагрузке, МВт	16	16	30	40
Напряжение, В	1350	800	600	2000
Ток в нагрузке, кА	≤1	≤7	≤2,2	≤20
Длительность импульса, с	2,7	2,7–8	3,8	3,7–9
Расход продуктов сгорания, кг/с	25–30	50	70–100	140
Масса МГД-генератора, т	15	25	20	40

Для ядерного реактора типа PEWEE-1 тепловой мощностью 514 МВт выполнена рядом ученых проектная разработка электроэнергетической установки МГДГ, обеспечивающая удельную мощность 2000 МВт/м³ при длительности рабочего периода 64 мин., коэффициент преобразования энтальпии до 50 %. Рабочим телом является водород с цезиевой присадкой при неравновесной ионизации.

Другие аналогичные проекты и проработки космических ядерных автономных энергетических установок (мощностью до 1000 МВт) по большей части базируются на компактных дисковых МГДГ, работающих по замкнутому циклу на неравновесной плазме [1].

Практическая реализация подобных систем в значительной степени определяется созданием надежных ядерных реакторов для космических летательных аппаратов.

Список литературы

1. Non-Equilibrium MHD Disk Generator Using Cesium-Seeded Hydrogen / W. D. Jackson // XI Intern. Conf. on MHD Electric Power Generation. Beijing. 1992. V. 4. P. 1320–1323.

УДК 621.039

Терентьев М. С., Ташлыков О. Л.
Уральский федеральный университет,
maxterentyev@mail.ru

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ТОРИЕВОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

В мире в силу исторических причин доминирует уран-плутониевый ядерный топливный цикл (ЯТЦ), когда в ядерном топливе, облучаемом нейтронами в реакторе, происходит накопление плутония, который может быть выделен и использован. Использование обогащенного урана и наработка плутония при широкомасштабном развитии ядерной энергетики связаны с нарастанием